



## **H. C. Ørsted opdagede aluminium, men tog ikke sin opdagelse alvorligt**

Kragh, Helge Stjernholm

*Published in:*  
videnskab.dk

*Publication date:*  
2020

*Document version*  
Også kaldet Forlagets PDF

*Citation for published version (APA):*

Kragh, H. S. (2020). H. C. Ørsted opdagede aluminium, men tog ikke sin opdagelse alvorligt. *videnskab.dk*.  
<http://www.kvant.dk/upload/kv-2020-2/kv-2020-2-kv202-HK-Enhedsteorier.pdf>

# Fra Descartes til superstrengene: aspekter af foreningsteoriernes historie

Helge Kragh, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Den gamle drøm om at forklare alle naturfænomener ud fra en enkelt teori eller nogle få antagelser er i dag så levende som nogensinde. Men den kan følges gennem hele videnskabshistorien. I artiklen fokuseres på nogle få højdepunkter gennem en næsten 400-årig periode.

## Før Ørsted

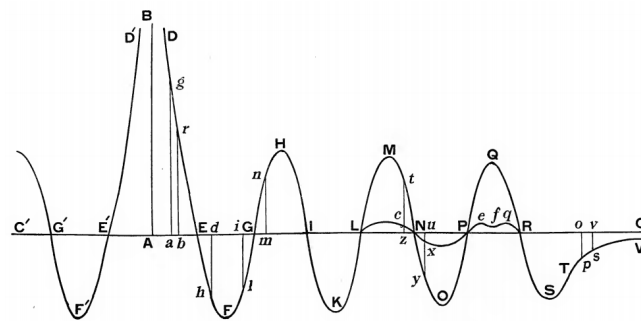
Idéen om en grundlæggende enhed i historien går tilbage til de førsokratiske filosoffer i oldtidens Grækenland, men var da af en filosofisk og ikke videnskabelig karakter. Først under den naturvidenskabelige revolution i 1600-tallet møder vi en fysisk teori, der ud fra datidens videnskabelige standarder hævdede at give en rationel forståelse af naturen i dens helhed. Den franske matematiker og naturfilosof René Descartes var overbevist om, at hans verdenssystem var ubetvivleligt rigtigt, da det byggede på matematikkens sikre fundament suppleret med principper som *a priori* var sande. I *Principia Philosophiae* fra 1644 og det posthumt udgivne værk *Le Monde* fra 1664 fremlagde han sin ambitiøse naturfilosofi i form af en teori, der var gyldig for alt materielt i universet.

Med hensyn til naturlovene mente Descartes, at Gud som et rationelt væsen nødvendigvis måtte have skabt de mekaniske love, som manifesterede sig i den iagttagne natur. Med hensyn til stoffet konkluderede han, at selv om det bestod af bittesmå partikler, så var de ikke udelelige eller af en mindste størrelse. Descartes forkastede hypotesen om atomer, som frit bevæger sig i et tomt rum, for ifølge ham var et tomt rum eller vakuum en umulighed. Hans univers var et plenum, der overalt var fyldt med fine partikler, som stødte sammen og indgik i hvirvelformede strukturer. På den måde var han i stand til kvalitativt at redegøre for planeternes baner omkring Solen og også til antydningvist at forklare jordiske fænomener som magnetisme, tidevand og den forunderlige regnbue. Men Descartes' visionære skitse af en teori om alting savnede i det væsentlige forbindelse til eksperimenter, der hos ham kun optrådte som et hjælpemiddel til forklaringer og ikke som et middel til at teste teorien.

Alligevel var Descartes' universelle fysik en stor succes i perioden fra omkring 1680 til 1730, hvor den i forskellige versioner nød bred anerkendelse. Først med accepten af Isaac Newtons gravitationsteori og mekaniske fysik blev der skabt et nyt og frugtbart paradigme. Loven om massetiltrækning forenede for første gang jordiske og himmelske fænomener, og den var den første af de fundamentale naturlove, der stadig har denne status. Fascinationen af Newtons fysik i oplysningstiden var ofte blandet med cartesianske og leibnizianske elementer, sådan som tilfældet var hos den kroatisk-italienske matematiker og naturfilosof Roger Boscovich (Rudjer Bošković). I sit hovedværk *Theoria*

*Philosophiae Naturalis* fremlagde han en omfattende teori, hvor alting blev forklaret ud fra en enkelt kraftlov virkende mellem de punktatomer, som stof ultimativt bestod af.

Boscovichs "atomer" havde ingen udstrækning eller masse overhovedet, ja ingen som helst fysiske egenskaber, for disse opstod alene gennem den kraft, der virkede mellem dem. Med andre ord, hans forklaring af stof var renlivet dynamisk. Den fundamentale kraft, hvoraf alt kunne udledes, varierede periodisk med afstanden på en sådan måde, at den vekslede mellem frastødning og tiltrækning. Ved yderst små afstande var kraften frastødende, hvilket umuliggjorde, at to punktatomer kunne have samme rumlige position (figur 1). *Theoria* var et seriøst bud på den ultimative foreningsteori, hvor alt i princippet kunne udledes fra en eneste kraftlov. Den strengt reduktionistiske og deterministiske teori vakte interesse og inspirerede senere fysikere, men den viste sig snart at være et skelet uden kød og blod. Ikke desto mindre har Boscovichs teori en prominent plads i foreningsteoriernes historie.



Figur 1. Boscovichs kraftlov fra *Theoria*, hvor positionen A betegner punktatomet. Kraften over abscissen er frastødende, og tiltrækkende under abscissen.

## Ånden i naturen

Den naturromantiske opfattelse af verden, der i starten af 1800-tallet satte sit præg på dele af fysikken og kemien, stod på de fleste områder i stærk modsætning til det verdensbillede, som havde sin baggrund i Newtons mekanik, og som også Boscovich var eksponent for. Alligevel var drømmen om en total og endelig enhedsforklaring et fælles tema, om end det fremstod i vidt forskellige former. På en måde var drømmen endnu større og mere dristig blandt de forskere, der

tilsluttede sig romantiske og kantianske tankegange, for her omfattede den også den menneskelige ånd eller fornuft.

Ifølge filosofen Friedrich Schelling var ånd og natur blot to forskellige sider af samme sag, så man kan ikke forstå den ene uden at medtænke den anden. Vil man forstå naturens sande væsen, kan det ikke lade sig gøre ad sansningens vej alene, for dette væsen er uadskilleligt fra ånden og derfor kun fatteligt gennem en empatisk og intuitiv indsigt. H. C. Ørsted pointerede i sit hovedværk med den velvalgte titel *Ånden i Naturen*, at mens naturen er den synlige ånd, så er ånden den usynlige natur. "Hele Naturen er en Fornuftindretning", skrev han, og "Naturgrandskerens Forretning er at søge Fornuften i Naturen". De natur- eller fornuftlove, som Ørsted søgte efter, var ikke blot empirisk gyldige, men sande af nødvendighed. Således fremhævede han, at inertiens lov var en "selvklar Fornuftnødvendighed". En sådan form for rationalisme kan også findes hos fx Descartes og Boscovich, men hos Ørsted og andre naturromantikere var den ikke koblet til en reduktionistisk naturforståelse. Tværtimod, Ørsted var talsmand for en holistisk opfattelse, hvor indsigt i helheden kommer før den sekundære indsigt i delene.

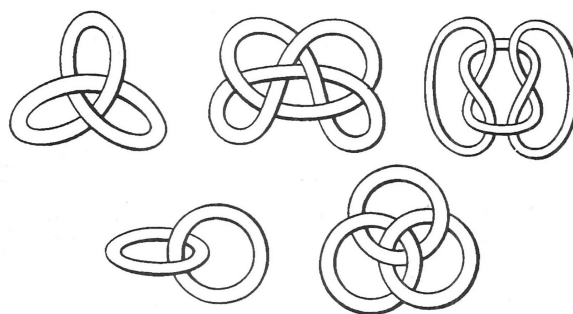
Den prioritet, Ørsted og andre gav til helheden, indbar en grundlæggende enhed i verden og dermed også tanken om, at de forskellige lovmæssigheder i naturen har et fælles ophav i form af en grund- eller urkraft. Enheden gjaldt ikke blot naturlovene, men også den materie, som Ørsted opfattede som dynamisk snarere end stoffig. Således påpegede han, at kemiske analyser af meteoritter viste, at disse budbringere fra rummet bestod af de samme grundstoffer, som vi kender fra Jorden, og dermed bekræftede naturens materielle enhed. Naturlovene var de samme overalt i universet, og det samme gjaldt for materiens kemiske beskaffenhed. Mere væsentligt var det, at Ørsteds forventning om naturkræfternes enhed i juli 1820 førte ham til den skelsættende opdagelse af elektromagnetismen. Foreningen af eller i det mindste forbindelsen mellem elektricitet og magnetisme er et tidligt højdepunkt i den fysiske enhedstænkningens historie.

Ørsteds opdagelse blev videreført af den på flere måder åndsbeslægtede Michael Faraday, der ikke blot udbyggede den elektromagnetiske teori men også søgte at gå et skridt videre, nemlig at forbinde elektromagnetismen med den tilsyneladende helt uafhængige tyngdekraft. Det lykkedes dog ikke Faraday at påvise en elektrogravitationel effekt (se tegningen på Kvants forside). Han beskrev sine mislykkede eksperimenter i en artikel fra 1851, hvor han ikke desto mindre konkluderede, at de "[ikke] ryster min overbevisning om en relation mellem tyngdekraften og elektriciteten".

### En teori om æteriske atomer

Den mest udarbejdede og imponerende af 1800-tallets enhedsteorier er også en af de mindst kendte. Den victorianske hvirvel- eller vortexteori var et grandióst forsøg på at forklare alle fysiske fænomener ud fra antagelsen om en allestedsværende æter beskrevet af hydrodynamikkens ligninger. Under udfoldelse af stor

matematisk virtuositet lykkedes det i 1867 William Thomson (den senere Lord Kelvin) at vise, at små lukkede hvirvelbevægelser i æteren var permanente og havde mange af de egenskaber, der blev tillagt materielle atomer (figur 2). Man kunne derfor nøjes med et enkelt medium, æteren, og deduktivt udlede vortexatomernes egenskaber fra kontinuumsfysikkens ligninger. James Clerk Maxwell var blandt dem, der var fascineret af teoriens renhed, dens deduktive karakter og dens mangel på hjælpehypoteser. Som han skrev i 1875, "Når vortexatomet sættes i bevægelse, er alle dets egenskaber fastlagte og kun bestemt af de bevægelseslove, der gælder for den primitive væske [æteren]". Maxwell var dog opmærksom på, at teoriens forførende ontologiske simpelhed og matematiske rigdom på ingen måde garanterede dens sandhed.



**Figur 2.** Lukkede vortexstrukturer som illustration af æteratomer. Afhandling af W. Thomson fra 1869.

Vortexteorien blev udviklet i detaljer af engelske matematikere og fysikere, der anvendte den på en lang række områder inden for varmelære, optik, kemi og elektrodynamik. Selv tyngdekraften søgte man at forklare ud fra vortexmodellen, men uden at der kom noget ud af forsøget. På trods af teoriens mange formelle kvaliteter lykkedes det ikke at omforme den fra et matematisk-fysisk forskningsprogram til en teori med ægte empirisk forklarings- og forudsigelseskraft. I princippet kunne den ganske vist forklare næsten alting, men netop af den grund kunne den ikke forklare, hvorfor naturen har bestemte egenskaber i stedet for andre. Omkring 1890 ophørte fysikere med at interessere sig for vortexteorien, der på den tid var udartet til en matematisk snarere end fysisk teori.

Vortexteorien var dog ikke uden konsekvenser, for dens matematiske apparat førte til fremskridt inden for det topologiske område kendt som knudeteori. Også dele af den senere fysik var inspireret af vortexteorien, som elektronens opdager J. J. Thomson var stærkt optaget af. Thomson mente, at den gav en slags forklaring på grundstoffernes periodiske system, og hans forestillinger om elektronen stod i direkte gæld til vortexatomet.

### Det elektromagnetiske verdensbillede

Den af Faraday indledte feltbeskrivelse af elektricitet og magnetisme kulminerede i Maxwells enhedsteori fra 1865. I modsætning til dens moderne formulering byggede Maxwells oprindelige teori på den mekaniske æter, og desuden var den en ren feltteori, hvor der ikke

var plads til elektrisk ladede partikler. Maxwell viste, at æterkonstanterne  $\epsilon_0$  og  $\mu_0$  for det tomme rum var knyttet til lyshastigheden  $c$  via formlen

$$\epsilon_0\mu_0 = c^{-2} \quad (1)$$

Han sluttede heraf, at lys er elektromagnetiske bølger, og at optikken derfor kan forstås som en del af elektrodynamikken. Dermed havde han forenet to områder af fysikken, der indtil da havde været anset som helt forskellige.

Hos Maxwell var det dog stadig den newtonske mekanik, der havde fundamental status, og som elektrodynamikken burde kunne reduceres til. Det var først med omformuleringen af Maxwells teori i 1890'erne, at forholdet mellem stofflige partikler og den elektromagnetiske æter kom i fokus. Ifølge fysikere som Wilhelm Wien og Max Abraham var alt stof manifestationer af æteren, hvorfor mekanikken snarere burde kunne reduceres til elektrodynamik. Der var intet andet i verden end elektromagnetiske felter og de elektroner, der var en slags koncentreret æterpartikler! Det såkaldte elektromagnetiske verdensbillede tiltrak sig stor interesse i perioden 1895–1915, hvor det af mange blev betragtet som den endelige foreningsteori.

Den mest ambitiøse formulering af det elektromagnetiske verdensbillede skyldtes den tyske fysiker Gustav Mie, der i 1907 skrev: "Det er nu klart, at hele den sanselige verdens mangfoldighed ... kan reduceres til processer, der foregår i en enkelt verdenssubstans, nemlig æteren". Mies fysik byggede på en ikke-lineær generalisering af Maxwells ligninger og gjorde desuden brug af Einsteins nye relativitetsprincip. Styrken og svagheden i Mies elektromagnetiske æterteori var omtrent de samme som i den tidligere vortexteori. Det var en matematisk smuk teori, men den var pinligt steril, når det gjaldt konkrete anvendelser. Einstein betegnede den ironisk som et maleri i en flot ramme, hvor selve maleriet blot manglede. Med anerkendelsen af relativitetsteorien og kvanteteorien døde interessen for det elektromagnetiske verdensbillede.

### Relativitetsteori i 4 og 5 dimensioner

Straks efter kvantemekanikkens fremkomst stod det klart, at den nye fundamentale teori var inkonsistent med relativitetsteorien. Den utålelige situation blev i 1928 delvist løst med Paul Diracs elektronteori, der snart førte til det overraskende begreb om antipartikler. Diracs teori var endnu et højdepunkt i foreningsfysikkens historie, og i modsætning til andre højdepunkter var den empirisk frugtbar. Den var dog begrænset til den specielle relativitetsteori og havde derfor intet at sige om den tyngdekraft, der på en eller anden måde måtte høre til en god foreningsteori.

Allerede i 1870'erne legede enkelte fysikere og astronomer med idéen om, at der er en skjult fjerde rumdimension ud over de tre kendte. Det var dog først i 1920'erne, at idéen blev udformet til en videnskabelig hypotese om en fem- og ikke firedimensional rumtid. I 1914 forsøgte den finske fysiker Gunnar Nordström at skabe en syntese af generel relativitetsteori og elektromagnetisme på dette grundlag, og med matematikeren

Theodor Kaluzas teori fra 1921 blev den femdimensionale enhedsteori alment kendt. Kaluza medtog ikke den nye kvanteteori, og i hans syntese optrådte den femte dimension mere som en matematisk hjælpestørrelse end en fysisk parameter. Derimod startede Oskar Klein med Schrödingers bølgemekanik, som han i 1926 præsenterede i en femdimensional formulering, der ambitiøst omfattede både elektromagnetisme og tyngdekraft. Som et mål for den lille femte dimension angav han en længde, der indeholdt de fundamentale naturkonstanter for kvantemekanik, elektromagnetisme og gravitation:

$$l_K = \frac{4h}{e} \sqrt{\pi G} \cong 10^{-32} \text{ m} \quad (2)$$

Denne tidlige formel er prototypisk for de teorier, der søger at forene kvanteverdenen med elektromagnetismen og Einsteins gravitationsteori.

Hvad der snart blev kendt som Kaluza-Klein-teorien, vakte stor opmærksomhed blandt fysikerne, men efter at have arbejdet med teorien i et tiår, mistede de interessen for den. Som andre foreningsteorier var den femdimensionale teori matematisk tiltrækkende, men uden at levere overbevisende fysiske resultater. Det var dog ikke slutningen på Kaluza-Klein-teorien, der omkring 1970 blev genoplivet i noget anderledes versioner, der typisk indeholdt mere end blot en enkelt ekstra rumdimension. Siden da har mangedimensionale Kaluza-Klein-teorier spillet en stor rolle i udviklingen af stadig mere avancerede foreningsteorier.

I mellemkrigstiden udviklede astronomen Arthur Eddington en storslået foreningsteori af en helt anden og langt mere ambitiøs art. Hans teori var mere end blot en syntese af kvantemekanik og generel relativitetsteori, for han hævdede at have formuleret en endelig teori omfattende også al fremtidig viden om naturen. Blandt teoriens bemærkelsesværdige resultater var præcise udledninger af værdien af de fundamentale naturkonstanter, herunder elementarladningen, Plancks konstant og den kosmologiske konstant. Med denne teori ville alle fysikkens love og dens konsekvenser entydigt fremstå som produkter af den menneskelige fornuft. Eddingtons grandiose system, der kulminerede i det posthumt udgivne værk *Fundamental Theory* fra 1946, var som Descartes' system uafhængigt af empirisk viden om naturen og ville i princippet overflødiggøre eksperimenter og observationer. Eddingtons ultimative foreningsteori vandt dog ingen tilslutning, og i dag er den nærmest glemt.

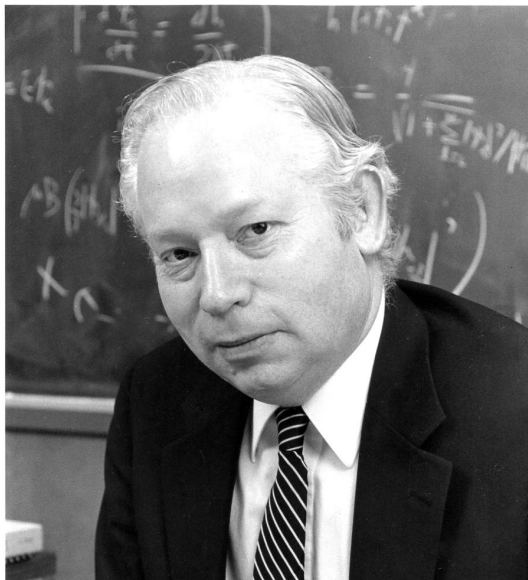
### Partikelfysik og kvanteteori

Antagelsen om naturens enhed omfatter ikke blot, at de grundlæggende teorier må kunne indordnes under samme teoretiske ramme. Det indebærer også en ontologisk antagelse, nemlig at de partikler, verden består af, må være forbundet og kunne reduceres til et lille antal – måske blot en enkelt urpartikel. Ud fra de dengang kendte atomvægte foreslog den engelske læge og kemiker William Prout i 1815, at alt stof består af brintatomer. Hypotesen var forkert, men ikke helt og aldeles forkert. Da Dirac mere end 100 år senere kom på idéen om antipartikler, var protonen og elektronen



de eneste kendte massive partikler. Han mente derfor, at antielektronen måtte være identisk med protonen, for derved ville han have realiseret, hvad han kaldte "filosoffernes drøm om at forstå alt stof ud fra en eneste fundamental partikel". Han måtte dog snart indrømme, at protonen ikke er en forklædt elektron.

Med den voldsomme vækst i nye elementarpartikler, nogle fundet i naturen, men de fleste i laboratoriet, måtte man for en stund opgive filosofernes drøm. I stedet klassificerede man de mange partikler, hvilket omkring 1950 førte til de fire stadig anerkendte kræfter eller vekselvirkninger: gravitationen, elektromagnetismen, den svage vekselvirkning og den stærke vekselvirkning. De tre sidste kunne beskrives af kvantemekanikken, den første ikke. Den første succesfulde foreningsteori var den elektrosvage teori, der blev udformet i 1960'erne af blandt andet Shelton Glashow, Steven Weinberg (figur 3) og Abdus Salam. Det tog dog tid, før teorien blev helt verificeret, hvilket først skete med opdagelsen i CERN i 1983 af de forudsagte W- og Z-udvekslingspartikler.



**Figur 3.** Steven Weinberg, nobelpristager i 1979 og en ledende skikkelse i udviklingen af enhedsteorier.

Som det næste skridt måtte de stærke vekselvirkninger integreres med den elektrosvage teori. Man havde i starten af 1970'erne en lovende teori for de stærke kernekrafter i form af kvantekromodynamikken (QCD), og i 1975 foreslog Glashow og Howard Georgi en foreningsmodel af denne teori og den elektrosvage teori. Ifølge de to fysikere var "alle kræfter mellem elementarpartikler (stærk, svag, elektromagnetisk) forskellige manifestationer af samme fundamentale vekselvirkning, som udtrykkes ved en enkelt koblingsstyrke, nemlig finstrukturkonstanten". Glashow-Georgi-modellen var det første bud på en såkaldt GUT, et akronym for "grand unified theory". Koblingskonstanterne udtrykker de fundamentale kræfters relative styrke og er for den elektromagnetiske kraft givet ved finstrukturkonstanten

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} \cong 0,007 \quad (3)$$

Den tilsvarende konstant for den svage kraft er væsentligt mindre, og for den stærke kraft væsentligt

større. Ifølge GUT burde de tre koblingskonstanter smelte sammen ved meget høje energier, omkring  $10^{16}$  GeV, svarende til at kræfterne går op i en fælles enhed (figur 4).

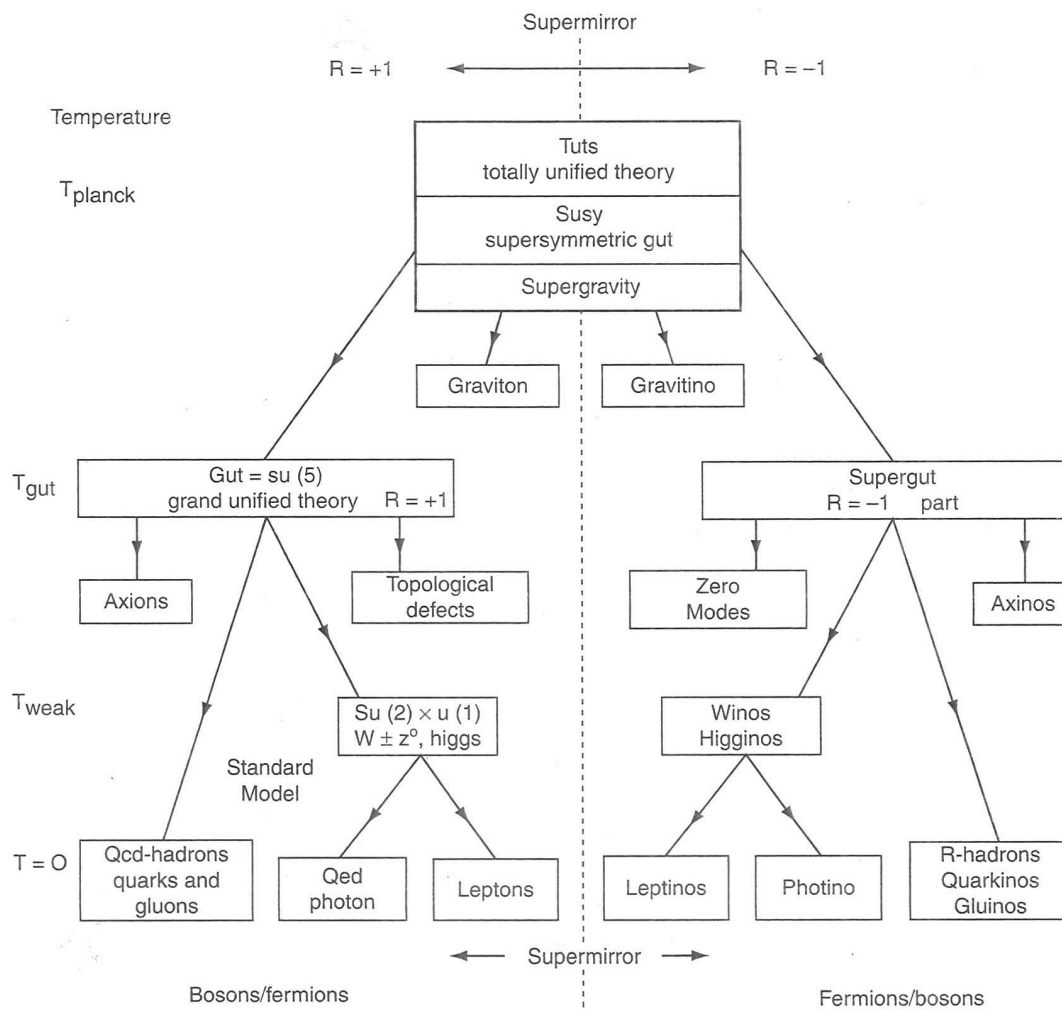
I modsætning til mange andre foreningsteorier viste GUT sig at være empirisk frugtbar, idet denne type af teori forudsagde overraskende og potentielt testbare fænomener. Den mest spektakulære forudsigelse var, at baryontallet ikke var absolut bevaret, og at protonen derfor ikke var en helt stabil partikel. Spontane henfald som  $p^+ \rightarrow \pi^0 + e^+$  burde forekomme, om end med en ekstremt lang middellevetid, der omkring 1980 blev beregnet til størrelsesordenen  $10^{31}$  år (senere GUT-versioner resulterer i en endnu længere levetid). Bemærkelsesværdigt nok kan forudsigelsen testes eksperimentelt, men til dags dato er der dog ikke påvist et eneste protonhenfald. Hvis protonen er radioaktiv, er dens levetid større end  $10^{33}$  år.

Ikke blot relaterede GUT til laboratoriefysik, teorier af denne art har også vist sig at være af stor betydning for kosmologien, hvor de er blevet benyttet til at forklare den påfaldende forskel mellem stof og antistof ud fra en oprindelig asymmetri mellem baryoner og antibaryoner. Desuden resulterede GUT i et scenario for det meget tidlige univers, hvor de tre kræfter oprindeligt var forenede, hvorefter de adskiltes som følge af den lavere temperatur forårsaget af rummets udvidelse. Først blev den stærke kraft adskilt fra den elektrosvage, hvorefter sidstnævnte blev opdelt i en elektromagnetisk og en svag kraft.

### Kvantegravitation

I 1930 lykkedes det den belgiske fysiker Léon Rosenfeld at kvantisere det svage gravitationsfelt, hvilket i dag ses som begyndelsen på det forskningsprogram, hvis mål er at forene Einsteins generelle relativitetsteori med kvantemekanikken. Det var dog først en menneskealder senere, nemlig med udviklingen af de første strengteorier i 1970'erne, at der skimtedes en mulig fælles teori for tyngdekraften og de tre kræfter, der indgår i standardmodellen eller i GUT. Strengteorien var i sin oprindelige version et forsøg på at forklare kernekrafterne ud fra endimensionale "streng", der holdt kvarkerne sammen i protonen og andre stærkt vekselvirkende partikler. Den videre og rent teoretiske udvikling af strengteorien førte til interessante resultater, der gjorde den til en kandidat for en enhedsteori for alle fire naturkræfter. Omkring 1980 var strengene blevet til umådeligt små superstreng (ca.  $10^{-35}$  m) i en tidimensional rumtid. Da alle fysiske partikler, kendte såvel som ukendte, optræder som energitilstande af strengen, er den det ultimative objekt i verden.

I teorien optrådte en massiv spin-2-partikel som svarede til den hypotetiske "graviton", der ifølge andre teorier var den partikel, som overfører tyngdekraften. Strengteorien var nu blevet til en teori, der i en formel forstand forenede tyngdekraften med de øvrige tre kræfter. I og med at den nye teori var supersymmetrisk, krævede den desuden, at bosoner og fermioner optræder parvist, sådan at fx elektronen må have en bosonisk partner, en "selektron" med samme masse, men med spin-0 i stedet for spin- $1/2$ . Supersymmetri eller SUSY



**Figur 4.** Den amerikanske fysiker Heinz Pagels' sammenfatning af fysiske enhedsteorier anno 1984, herunder supersymmetri, men ikke strengteori.

er dog ikke eksklusivt en egenskab for strengteorien, da denne egenskab deles af flere andre teorier, herunder en udvidelse af standardmodellen.

Mange fysikere opfattede (og opfatter stadigvæk) strengteorien som en lovende og meget attraktiv teori, hovedsageligt på grund af dens matematiske struktur og mangel på frie parametre. De erkender dog samtidigt, at teorien har alvorlige problemer med at knytte an til den verden af lav energi, vi lever i og som beskrives af den eksperimentelt bekræftede standardmodel. Man kan godt forestille sig eksperimenter, der falsificerer teorien, men det er mere end svært at realisere dem. Strengteorien har da også givet anledning til en metodologisk kontrovers, idet nogle kritikere hævder, at den i realiteten er en matematisk snarere end en fysisk teori. I en giftig kommentar fra 1988 sammenlignede Glashow strengteorien med middelalderens skolastik, idet han retorisk antydede, at teorien havde flere lighedspunkter med teologi end med fysik.

Strengteorien er ikke det eneste bud på en forening af kvantemekanik og generel relativitetsteori. Et af alternativerne er "loop quantum gravity" (LQG), der blev udviklet af Lee Smolin og Carlo Rovelli i slutningen af 1980'erne. Denne teori er meget forskellig fra strengteorien, idet den ikke gør brug af supersymmetri og heller ikke af ekstra rumdimensioner. LQG fører til

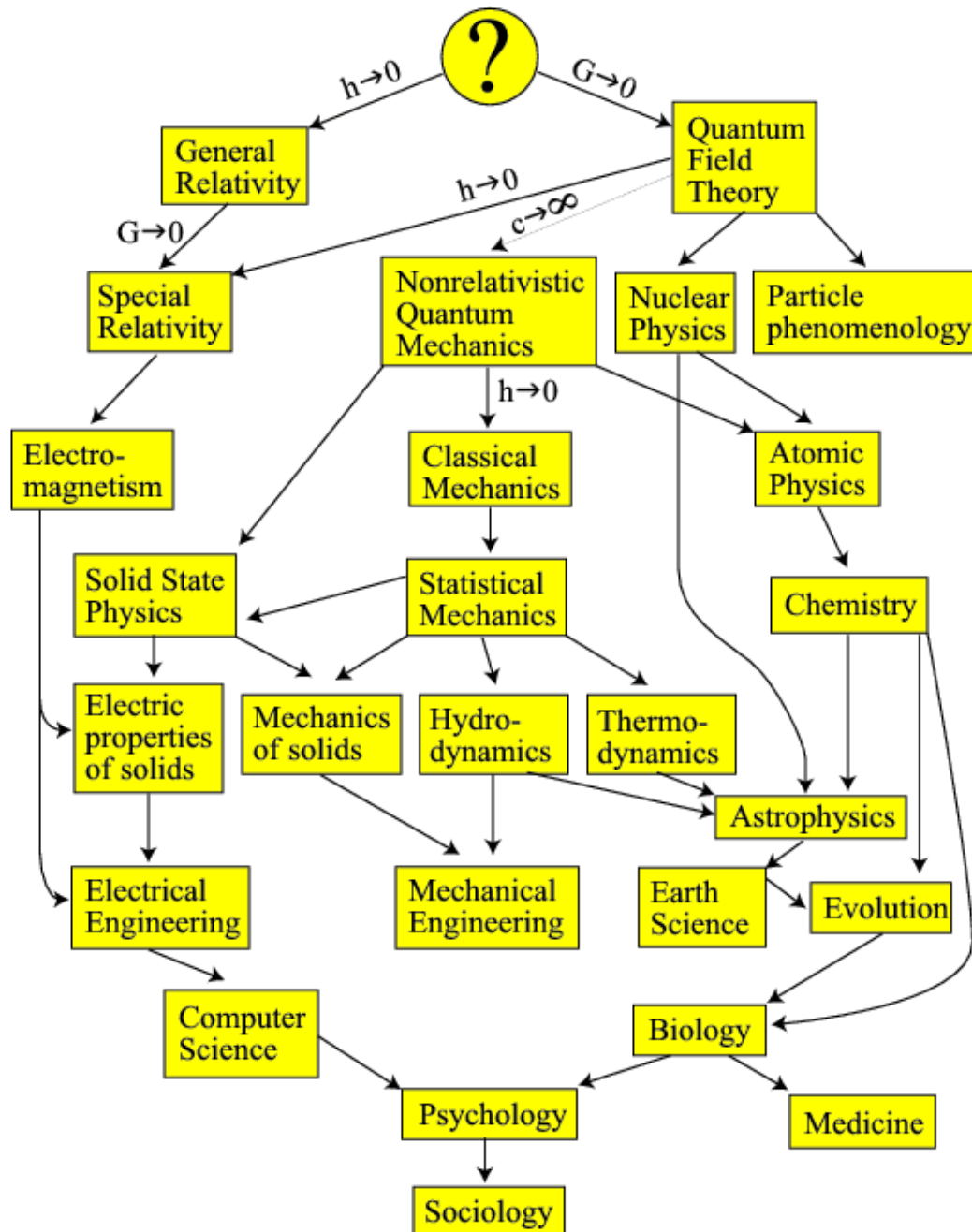
en overraskende opfattelse af rummet som bestående af diskrete og ekstremt små dele, sådan at det har en atomistisk struktur. Den mindste tilsvarende længde er den såkaldte Planck-længde, nemlig

$$l_P = \sqrt{\frac{Gh}{c^3}} \cong 4 \times 10^{-35} \text{ m} \quad (4)$$

Hvad angår eksperimentel evidens, står LQG i omtrent samme situation som strengteorien. Blandt førstnævntes forudsigelser er, at fotoners hastighed i vakuum afhænger en lille smule af deres energi. Forudsigelsen er testbar, men den er ikke blevet verificeret.

### En teori om alting

Mens nogle foreningsteorier blot indordner to naturkræfter eller -fænomener under samme teoretiske ramme, sådan som tilfældet var med elektromagnetismen og den mere omfattende elektrosvage teori, så er andre teorier mere ambitiøse. De er bud på, hvordan alle tilstande og processer i verden kan forstås ud fra en enkelt teori – i det mindste i princippet. I oldtiden mente Demokrit, at atomteorien havde denne ophøjede status, mens Pierre-Simon Laplace i slutningen af 1700-tallet tilskrev en lignende status til den newtonske mekanik. De to teorier fremstod begge, ligesom vortexteorien,



**Figur 5.** Max Tegmarks hierarkiske vision for al videnskab, hvor den mest fundamentale viden (foroven) deduktivt fører til andre former for viden, herunder psykologi og sociologi.

den elektromagnetiske teori og Eddingtons fundamentale teori senere gjorde det, som en “teori om alting” (TOE, theory of everything). Med denne etikette tænkes i dag ofte på en total foreningsteori, der samtidig er den “endelige teori”, som ikke kan begrundes yderligere eller erstattes af en endnu dybere teori.

Selv om strengteorien af og til omtales som en mulig TOE, skal udtrykket ikke tages alvorligt, og det er da også kun meget sjældent, at fysikere bruger det. På den anden side, når eller hvis strengteorien (eller en anden foreningsteori) når sin endelige udformning, formodes den af nogle at være en endegyldig teori. Weinberg skriver om denne type teori, at “den ikke kan modificeres det mindste, uden at det fører til logiske absurditeter. ... Den store teori må være som et fint stykke porcelæn, der ikke kan bøjes uden at gå itu. I

så fald vil vi, selv om vi ikke kan vide, hvorfor den store teori gælder, ud fra den rene matematik og logik vide, hvorfor sandheden ikke er en lidt anden.” Der er dog stadig en lang vej fra den slags teori, Weinberg beskriver, og en teori om bogstaveligt talt alting.

Den svensk-amerikanske fysiker og kosmolog Max Tegmark har siden 1998 udviklet en teori eller metateori, der prætenderer at være en TOE (figur 5). Grundlaget for denne reduktionistiske teori er en fremtidig forening af kvantemekanik og generel relativitetsteori, hvilket ikke er overraskende. Det er derimod hans centrale hypotese om, at den fysiske virkelighed ikke er andet end den matematiske virkelighed. Desuden hævder han, at alt matematisk eksisterende (som fx et rum med 729 dimensioner) modsvares af fysisk eksistens (et 729-dimensionalt rum eksisterer faktisk). Denne meget

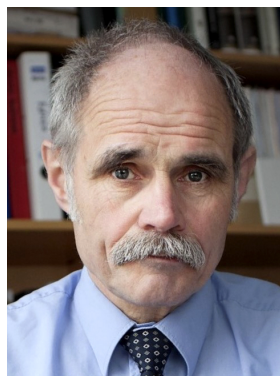


radikale påstand indebærer selvsagt en enorm udvidelse af, hvad der findes i verden. For at finde plads til de afsindigt mange nye fysiske objekter må Tegmark da også gå uden for den kendte verden og henvise til multiverset med dets uanede mængder af helt andre universer og fysiske love. Tegmarks matematisk-fysiske fantasi nyder måske ikke videnskabelig respekt, men i det mindste er den instruktiv set ud fra et historisk og videnskabsfilosofisk perspektiv.

## Litteratur

- [1] H. Kragh (2011) *Higher Speculations: Grand Theories and Failed Revolutions in Physics and Cosmology*, Oxford University Press.
- [2] S. Scoular (2007) *First Philosophy: The Theory of Everything*, Boca Raton.
- [3] D. Lindley (1993) *The End of Physics: The Myth of a Unified Theory*, Basic Books.

- [4] G. 't Hooft (1997) *In Search of the Ultimate Building Blocks*, Cambridge University Press.
- [5] D. Rickles (2014) *A Brief History of String Theory*, Springer.
- [6] S. Weinberg (1992) *Den Store Teori: Jagten på Naturens Grundlove*, Gyldendal.



Helge Kragh er professor emeritus ved Niels Bohr Institutet og arbejder især med de fysiske videnskabers nyere historie.

## Seks

Af John Rosendal Nielsen, Kvant

Tidligere redaktør på Kvant, Mogens Esrom Larsen, blev bedt om at udtale sig om sex under et presse-interview, hvortil han svarede: "Jo – seks er meget bemærkelsesværdigt; det er det eneste tal, der er lig med summen eller produktet af de samme tre tal". I Mogens' ånd og glæde for rekreativ matematik vil jeg stille denne opgave: Lav seks hver gang.

Idéen til opgaven kommer fra en opgave i *Illustreret Videnskab* (for over 30 år siden), som Mogens lavede. Jeg mener dog ikke, at han havde 0 og 10 med i sin version.

0	0	0	=	6
1	1	1	=	6
2	2	2	=	6
3	3	3	=	6
4	4	4	=	6
5	5	5	=	6
6	6	6	=	6
7	7	7	=	6
8	8	8	=	6
9	9	9	=	6
10	10	10	=	6

Reglerne er enkle:

1) Det er tilladt at bruge de fire regningsarter (plus, minus, gange og dividere), sætte parenteser, samt anvende almindelige matematiske funktioner, men I må ikke tilføje nye tal, heller ikke i regneoperationen. Kvadratrodd er således tilladt, men ikke fx potenser og eller den tredje rod.

2) Resultatet skal give seks, så man kan ikke benytte sig af  $\neq$ . Nogle regnestykker er der flere svarmuligheder til. God fornøjelse med opgaven!  
PS. Løsningen findes på side 12.



80 sider i  
hardcover  
(Vejl. 184,50 kr)

For første gang er historien om Hans Christian Ørsted nu udkommet som tegneserie. Læs om hans opvækst, hans samtid, hans betydning og hans opdagelse af elektromagnetismen – tegnet og fortalt af Ingo Milton og Sussi Bech efter oplæg af Kvants redaktør Jens Olaf Pepke Pedersen.

## Tegneserien om ØRSTED

Inkl. 12 siders efterskrift om Hans Christian Ørsted.

Køb "Ørsted – han satte strøm til verden" hos din boghandler eller direkte fra forlaget ([www.eudor.dk](http://www.eudor.dk))

**E EUDOR**